

T S1/5/1

1/5/1

DIALOG(R)File 351:Derwent WPI

(c) 2005 Thomson Derwent. All rts. reserv.

010069737 \*\*Image available\*\*

WPI Acc No: 1994-337450/199442

XRPX Acc No: N94-265241

**Bone salt estimation method used in dual energy X-ray absorption -  
incorporating dual image obtained on height and other predetermined  
factor followed by computation based on image constructed by differential  
image**

Patent Assignee: HITACHI LTD (HITA ); HITACHI MEDICAL CORP (HITR )

Number of Countries: 001 Number of Patents: 001

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
JP 6261894	A	19940920	JP 93268585	A	19931027	199442 B

Priority Applications (No Type Date): JP 935639 A 19930118

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan	Pg	Main IPC	Filing Notes
JP 6261894	A		21	A61B-006/00	

Abstract (Basic): JP 6261894 A

The bone salt estimation method starts with X-ray imaging of the concerned region in human or animal body. First, X-ray image is taken twice by charging the energy using height and other predetermined parameter. By subtracting pixel values of one image from the other, a differential image is created.

A measurement domain and an arbitrary point are defined in the region occupied by the image. Mean density values are computed for the entire measurement domain with reference to this point. The bone salt is estimated based on the mean density values.

ADVANTAGE - Automates bone salt estimation method. Extracts measurement domain uninfluenced by operation errors. Increases data extraction rate. Provides high reproducibility.

Dwg.1/22

Title Terms: BONE; SALT; ESTIMATE; METHOD; DUAL; ENERGY; RAY; ABSORB;  
INCORPORATE; DUAL; IMAGE; OBTAIN; HEIGHT; PREDETERMINED; FACTOR; FOLLOW;  
COMPUTATION; BASED; IMAGE; CONSTRUCTION; DIFFERENTIAL; IMAGE

Index Terms/Additional Words: DEXA

Derwent Class: P31; S03; S05; T01

International Patent Class (Main): A61B-006/00

International Patent Class (Additional): G06F-015/62; H04N-005/325

File Segment: EPI; EngPI

?

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-261894

(43)公開日 平成6年(1994)9月20日

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
A 6 1 B 6/00	3 3 3	9163-4C		
H 0 4 N 5/325		9163-4C	A 6 1 B 6/ 00	3 5 0 A
		9163-4C		3 5 0 S

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 21 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平5-268585

(22)出願日 平成5年(1993)10月27日

(31)優先権主張番号 特願平5-5639

(32)優先日 平5(1993)1月18日

(33)優先権主張国 日本 (J P)

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(71)出願人 000153498

株式会社日立メディコ

東京都千代田区内神田1丁目1番14号

(72)発明者 内田 美津子

神奈川県川崎市麻生区王禅寺1099番地 株

式会社日立製作所システム開発研究所内

(72)発明者 森下 孝一

神奈川県川崎市麻生区王禅寺1099番地 株

式会社日立製作所システム開発研究所内

(74)代理人 弁理士 小川 勝男

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 骨塩定量方法

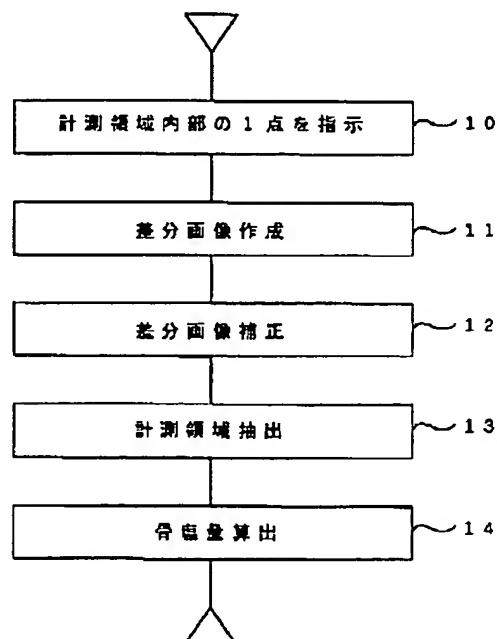
(57)【要約】

【目的】 骨塩定量に用いる安定した差分画像を作成する処理と計測領域を抽出し、骨塩量を算出する処理からなる骨塩定量方法を提供する。

【構成】 高低2種類のエネルギーで撮影した2枚のX線画像を用いて、計測領域内部に任意の1点を指示し(10)、2枚のX線画像の差分画像を作成し(11)、差分画像を補正し(12)、差分画像上に計測領域を抽出し(13)、骨塩量を算出する(14)。

【効果】 本発明によれば、安定した差分画像の作成、オペレーションに左右されない計測領域の自動抽出方法、及び計測領域の変形にも強い領域自動抽出方法が提供されるため、自動抽出率が高く、再現性の高い骨塩定量方法が実現できる。

図 1



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 X線画像を用いて所望の計測領域を抽出し骨塩定量を行なう方法であって、(a)高低2種類のエネルギーで撮影したX線画像と予め定めた係数を用いて仮の差分画像を作成し、(b)①該仮の差分画像上に計測領域中の任意の1点を指示し、②該指示点をもとに予め定められた形のベース領域を抽出し、③上記X線画像上における上記ベース領域内の濃度値比等から算出される基準値を設定し、④上記基準値を用いて差分画像を作成し、(c)該差分画像上に上記指示点を含む計測領域を含めて少なくとも1つの計測領域を抽出し、(d)該計測領域内の平均濃度値より骨塩量を算出することを特徴とする骨塩定量方法。

【請求項2】 上記(b)②ベース領域を抽出する処理は、(b1)上記計測領域中の上記指示点をもとに上記基準値を算出するための上記ベース領域を抽出し、上記計測領域を抽出するためのしきい値を上記ベース領域内の濃度値より設定する処理、(b2)上記計測領域の側面輪郭を検出する処理、(b3)上記計測領域間の境界を検出する処理、(b4)上記計測領域の中心点を算出する処理、(b5)上記(b4)で求めた中心点を上記(b1)の指示点に置き換えて上記(b1)～(b4)の処理を予め定めた繰り返し終了条件を満たすまで複数回繰り返す処理からなる請求項1記載の骨塩定量方法。

【請求項3】 上記(c)計測領域の抽出処理は、上記計測領域の大まかな側面輪郭及び境界を抽出し、更に精密な側面輪郭及び境界を抽出する2段階処理よりなる請求項1記載の骨塩定量方法。

【請求項4】 上記(b)④差分画像を作成する処理は、その後処理として、上記差分画像におけるライン毎の濃度値特徴量を用いて、近接ラインを合わせ込むことにより上記差分画像を補正する処理を含む請求項1記載の骨塩定量方法。

【請求項5】 X線画像を用いて所望の計測領域を抽出し骨塩定量を行なう方法であって、(a)高低2種類のエネルギーで撮影したX線画像と予め定めた係数を用いて仮の差分画像を作成し、(b)①該仮の差分画像上に計測領域中の任意の1点を指示し、②該指示点をもとに予め定められた形のベース領域を抽出し、③上記X線画像上における上記ベース領域内の濃度値比等から算出される基準値を設定し、④該基準値を用いて差分画像を作成し、(c)①該差分画像の上記ベース領域内の濃度値からしきい濃度値を設定し、②上記計測領域の側面の輪郭を抽出し、③該計測領域間の少なくとも2本の境界を(1)上記輪郭間の画像濃度値の累積濃度値と(2)平均濃度値と(3)濃度標準偏差値、(4)上記輪郭間の長さ、(5)境界間の長さ、(6)輪郭間の長さとの境界間の長さの比、(7)複数の境界間の長さの比の少なくとも1つを用いて算出し、④予め定めた境界の適合度を表す評価関数により算出値を評価し、⑤評価した結果に基づいて境界を設定し、⑥上記

指示点を含む計測領域を含めて少なくとも1つの計測領域を抽出し、(d)上記計測領域内の平均濃度値より骨塩量を算出することを特徴とする骨塩定量方法。

【請求項6】 上記(c)⑥計測領域を抽出する処理は、所望の計測領域の形状と状態に応じて適用できる少なくとも2つの計測領域抽出アルゴリズムを有する請求項5記載の骨塩定量方法。

【請求項7】 上記(c)⑥計測領域を抽出する処理は、上記少なくとも2つの計測領域抽出アルゴリズムのうち、どのアルゴリズムを適用するかを決定する処理を有する請求項5記載の骨塩定量方法。

【請求項8】 上記計測領域抽出アルゴリズムは、腰椎領域抽出アルゴリズムを含む請求項6記載の骨塩定量方法。

【請求項9】 上記少なくとも2つの計測領域抽出アルゴリズムは、所望の計測領域の形状と状態に応じてどのアルゴリズムを適用するかを操作者が決定するものである請求項6記載の骨塩定量方法。

【請求項10】 上記決定する処理は、操作者と対話しながら行なう請求項9記載の骨塩定量方法。

【請求項11】 上記(c)⑥計測領域を抽出する処理は、上記計測領域抽出アルゴリズムによって抽出される計測領域の形状と骨塩量、複数計測領域の総合的な形状と骨塩量の少なくとも1つを予め定めた評価基準値により評価し、上記計測領域の変形を推定する処理を含む請求項6記載の骨塩定量方法。

【請求項12】 上記変形を推定する処理は、骨塩量と計測領域の少なくとも一方に補正が必要であるかどうかを推定する処理を含む請求項11記載の骨塩定量方法。

【請求項13】 上記補正が必要であるかどうかを推定する処理は、操作者と対話しながら行なう請求項12記載の骨塩定量方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、X線画像を用いた骨塩定量方法、特にDEXA(Dual Energy X-ray Absorptiometry)法を用いた骨塩定量における計測領域自動抽出方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 腰椎等で骨塩定量を行う際は、マウス、トラックボール等を用いてマニュアル指示によりおおまかな計測領域や計測領域の境界等を設定している。ノーランド社製デュアルX線骨密度測定装置XR-26S及びアロカ社製骨塩量測定装置DCS3000のカatalogに境界設定について記載されている。ただし、詳細内容は不明である。

【0003】 DEXA法による骨塩定量部位として、腰椎及び大腿骨が中心になっている。腰椎は骨の代謝の影響を受けやすい海綿骨の割合が高い(ほぼ70%)ため骨塩量の変化が他の骨に比して早く認められ、骨粗鬆症

3

の診断に用いる骨塩定量部位として有効である。しかし、加齢による椎体の変形が生じるため、腰椎の領域抽出が難しい症例がある。この内容については、「特集 多様化する骨塩定量測定」(雑誌「新医療」、1992年8月号、98頁~101頁)に詳しい。

【0004】このことから、骨塩定量装置において腰椎や大腿骨等の領域を自動又は半自動的に抽出し、抽出された領域が不適当である場合は操作者が領域を補正し、再度骨塩定量している。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】従来は、マニュアル指示により計測領域の境界等を設定するため、操作者の操作に起因する測定誤差が生じる。また、腰椎などの場合は計測領域を複数設定するため操作者にかかる負担も大きい。

【0006】本発明の第1の目的は、オペレーションに左右されない再現性の高い計測領域を抽出し、更に操作者にかかる負担を軽減する骨塩定量方法を提供することにある。

【0007】本発明の第2の目的は、高低2種類のエネルギーで撮影したX線画像より、骨塩定量に用いる差分画像を安定に作成する骨塩定量方法を提供することにある。

【0008】本発明の第3の目的は、撮影装置に起因する差分画像上のノイズを除去する骨塩定量方法を提供することにある。

【0009】例えば、腰椎は加齢による椎体の変形が多い部位であり、各腰椎間境界の特徴は、変形の少ない腰椎と変形の多い腰椎とは著しく異なる。

【0010】このように特徴の異なる部位を、一様の領域抽出処理で抽出することは困難である。また、変形の少ない腰椎は簡単な処理で抽出でき、変形の多い腰椎は複雑な処理でないと抽出できない場合、変形の多い腰椎のために変形の少ない腰椎に対しても一様に複雑な処理で抽出すると、不必要な処理が生じて処理時間がかかったり、領域抽出を失敗することもある。

【0011】本発明の第4の目的は、計測領域間の境界設定が困難な場合でも境界を信頼性高く設定できる骨塩定量方法を提供することにある。

【0012】本発明の第5の目的は、計測領域の変形の程度に応じた領域抽出を行うことができる骨塩定量方法を提供することにある。

【0013】DEXA法やDPA(Dual Photon Absorptiometry)法、SPA(Single Photon Absorptiometry)法等による骨塩量は一方向からの積分値で評価するため、骨の変形や圧迫などがあると見かけの骨塩量が増加することがある。このため、骨塩量の増加が治療による効果か、変形によるものか判断して診断を行う必要がある。例えば、腰椎を用いた骨粗鬆症の診断は、一般に第2腰椎から第4腰椎の骨塩量の総合評価で行われている。仮

4

に、第2腰椎が変形のために骨塩量が増加している場合、第2腰椎の骨塩量は診断に用いずに第3腰椎と第4腰椎の骨塩量で骨粗鬆症の診断を行う。ここで変形があるかの判断は、操作者が行っている。

【0014】本発明の第6の目的は、骨塩量の算出結果に基づいて計測領域の変形や圧迫を推定する処理と、診断に有効な骨塩量に補正するための処理とを備えた骨塩定量方法を提供することにある。

【0015】

10 【課題を解決するための手段】上記第1の目的を達成するため、操作者の指示する計測領域内の1点の座標を計測領域の輪郭と計測領域間の境界より求まる中心点に補正し、中心点が安定するまで上記処理を繰り返す処理と、補正した中心点に基づいて計測領域の大まかな輪郭と計測領域間の仮境界を検出し、更に検出した大まかな輪郭と仮境界から精密な輪郭と境界を検出する2段階検出処理によって少なくとも1つの計測領域を抽出する(以下、第1の手段という)。

20 【0016】上記第2の目的を達成するため、高低2種類のエネルギーで撮影したX線画像と予め定めた係数を用いて仮の差分画像を作成し、該仮の差分画像上に差分画像作成のための基準値を求めるベース領域を設定し、ベース領域内の上記X線画像間の濃度値比等から基準値を求め差分画像を作成する。または、上記ベース領域を上記仮の差分画像上に設定する方法に代えて、上記高低2種類のX線画像上に設定する方法を用いてもよい(以下、第2の手段という)。

30 【0017】上記第3の目的を達成するため、画像の近接ライン間の相関が強い性質を利用してライン毎に算出した平均濃度値や濃度標準偏差値などを合わせ込む処理によりストライプ状のノイズを除去する(以下、第3の手段という)。ここでのノイズ除去方法は差分画像に限られるものではなく、ストライプ状のノイズがあらわれる画像に対しても用いることができる。

40 【0018】上記第4の目的を達成するため、予めしきい値を用いたスキャンによって計測領域の輪郭を抽出し、(1)該輪郭間の画像濃度値の累積濃度値と(2)平均濃度値と(3)濃度標準偏差値、(4)上記輪郭間の長さ、(5)境界間の長さ、(6)輪郭間の長さとの境界間の長さの比、(7)複数の境界間の長さの比の少なくとも1つを算出し、予め定めた境界の適合度を表す評価関数により評価し、評価した結果に基づいて境界を設定する(以下、第4の手段という)。

50 【0019】上記第5の目的を達成するため、計測領域の形状を操作者が判断し、予め計測領域の変形の度合いに応じて用意された少なくとも2つの領域抽出アルゴリズムのうち1つを選択して領域抽出を行う。また、操作者が計測領域の形状を判断する代わりに、計測領域抽出処理の中で選択することもできる。更に、1つのアルゴリズムで計測領域を抽出し、その測定結果に基づいて領

5

域抽出が成功か失敗かを判断し、再度他のアルゴリズムで領域抽出を行うこともできる。また操作者と対話しながらアルゴリズムを選択することもできる（以下、第5の手段という）。

【0020】上記第6の目的を達成するため、抽出された各計測領域の骨塩量と面積、計測領域間の骨塩量比と面積比、各計測領域の傾きの少なくとも1つを算出し、予め定めた評価基準により評価し、評価結果に基づいて変形の可能性があるかどうかを推定し、推定結果に基づいて操作者が最終的な判断を行い、骨塩量や計測領域に補正処理を行う（以下、第6の手段という）。

【0021】

【作用】上記第1の手段は、計測領域内に任意の1点を指示する簡単なオペレーションにより少なくとも1つの計測領域を抽出するので、操作者は従来のように計測領域間境界などをマニュアルで設定する必要がなく負担が軽減する。また操作者の設定する位置は計測領域内の任意の1点であるため位置の正確さが必要なく、これによっても負担が軽減する。更に、操作者の指示した1点を中心とする領域でしきい値を算出し、上記しきい値を用いて計測領域の輪郭を検出し、輪郭をもとに計測領域間の境界を検出し、検出した輪郭と境界の座標から計測領域の中心点を算出し、この中心点を操作者の指示した1点に置き換えて上述の処理を繰り返す。この繰り返し処理により操作者がどの点を指示しても同じ中心点に収束するので、操作者の指示に左右されない計測領域が抽出できる。次に補正された中心点を中心とする領域内の濃度値と予め定めたパラメータを用いて2つのしきい値を設定し、1つのしきい値で計測領域の大まかな輪郭と計測領域間の仮境界を検出し、更にもう1つのしきい値を用いて精密な輪郭と境界を検出する2段階処理で最終的な計測領域を抽出することで、1回の処理で抽出を誤るケースを防ぐことができ、より信頼性の高い領域が抽出できる。

【0022】DEXA法における骨塩定量は、高低2種類のエネルギーで撮影したX線画像から骨塩定量を行う差分画像を作成して行う。この差分画像は、骨以外の軟部組織の濃度を0と考えたときの画像であり、軟部組織の濃度を0にするための基準値を上記X線画像上の軟部組織部分から求め、上記2種のX線画像と基準値より作成する。この基準値を算出する領域（以下、ベース領域という）が安定しないと、基準値が変化してしまうので、作成される差分画像が異なり、差分画像から抽出される計測領域の再現性や骨塩量の信頼性が低下する。

【0023】上記第2の手段は、上記X線画像上の軟部組織部分に計測領域抽出処理と同様の処理で検出される大まかな輪郭と計測領域間の境界の位置をもとに上記ベース領域を設定し、ベース領域内の上記X線画像間の濃度値比等から基準値を求めて差分画像を作成するので、ベース領域が画像に適応して安定に抽出でき、これによ

6

り基準値が安定し信頼性の高い差分画像が作成できる。

【0024】上記第3の手段は、差分画像上にあらわれるストライプ状のノイズを近接ライン間の相関性を利用してライン毎の平均濃度値や濃度標準偏差値の合わせ込み処理で除去するため、一般の平滑化処理などの方法に比べ、エッジなど原画像の形状を保持することができ、計測領域の抽出を精度良く行うことができる。

【0025】上記第4の手段は、予めしきい値を用いたスキャンによって計測領域の輪郭を抽出し、(1)該輪郭間の画像濃度値の累積濃度値と(2)平均濃度値と(3)濃度標準偏差値、(4)上記輪郭間の長さ、(5)境界間の長さ、(6)輪郭間の長さとの境界間の長さの比、(7)複数の境界間の長さの比の少なくとも1つを算出し、予め定めた境界の適合度を表す評価関数により評価し、評価した結果に基づいて境界を設定するので、信頼性の高い位置に計測領域間境界が設定できる。例えば、計測領域境界の特徴として、抽出された輪郭間の累積濃度値が低く、平均濃度値が低いとき、それぞれの評価関数は特徴量である累積濃度値（または平均濃度値）が低いほど評価値が高いものと定め、境界を設定する区間においてそれぞれの位置における累積濃度値と平均濃度値を算出し、正規化された評価値を求める。次に、各位置における累積濃度値の評価値と平均濃度値の評価値のうち低い方をその位置の最終評価値とし、設定区間において最大の評価値を持つ位置を計測領域間の境界に設定する。この方法により、境界の特徴を最大に示す位置を境界として設定できる。この例は評価する特徴量が2つであるが、更に多くの特徴量を組合せて設定することも可能である。また、最終評価値の設定は、その位置における複数評価値の最小値にする以外にも複数評価値の平均値や積の値を最終評価値とすることもできる。

【0026】上記第5の手段は、計測領域の形状を操作者が判断し、予め計測領域の変形の度合いに応じて用意された少なくとも2つの領域抽出アルゴリズムのうち1つを選択し、領域抽出を行うことができる。例えば、変形が少なく腰椎領域抽出が容易な症例には、単純で処理時間が短いアルゴリズムを選択し、変形が多く抽出が困難な症例には、複雑で処理時間が長い変形した腰椎の抽出に強いアルゴリズムを選択することで、自動抽出率の向上と、操作者のマニュアル設定誤差の回避、処理時間の効率化が実現できる。ここで、計測領域の形状の判断は操作者が行なう代わりに、計測領域抽出処理で行うこともできる。また、予めアルゴリズムを選択する代わりに、最初に大部分の症例に強いアルゴリズムで計測領域を抽出し、その測定結果に基づいて領域抽出が成功か失敗か推定し、失敗である場合は他のアルゴリズムで再度領域抽出を行なうこともできる。

【0027】上記第6の手段は、抽出した各計測領域の骨塩量と面積、計測領域間の骨塩量比と面積比、各計測領域の傾きの少なくとも1つを算出し、予め定めた評価

基準により評価し、評価結果に基づいて変形の可能性があるかどうかを推定することができる。例えば腰椎においては第1から第4腰椎の各領域面積と骨塩量と各腰椎の傾きを算出する。例えば各腰椎の傾きが大きく湾曲するようにばらついているならば変形している、第2腰椎が他の腰椎の面積に比べて小さく高骨塩量値であるならば、第2腰椎で圧迫による変形があると推定する。また、各腰椎の骨塩量はある範囲内にあるが、ある1つの腰椎の面積が極端に大きいならば腰椎領域抽出が失敗していると推定することもできる。このように推定することによって操作者の診断を助けることができる。

【0028】

【実施例】本実施例は、DEXA (Dual Energy Xray Absorptiometry) 法で腰椎正面を撮影し、腰椎の骨塩量を行なう例である。

【0029】図17は本発明を実現するシステム構成の一例である。以下、各部の機能概要を説明する。

【0030】X線発生器171から高低2種類の電圧でファンビーム状のX線を交互に発生する。X線は被写体170を通過し、X線検出器172で検出され、それぞれAD変換器173でAD変換される。X線発生器171とX線検出器172は連動して撮影区間を移動しながら撮影を行ない、最終的に得られる2種類の画像が画像処理装置174に送られる。画像処理装置174では、以下に詳しく述べる骨塩量計測処理等を行なう。表示装置175は画像や操作メッセージ、計測結果等を表示し、操作卓176ではオペレータが画像上に1点を指示するなど各種操作を行ない、外部記憶装置177では画像データなどのデータを記憶し、出力装置178では表示装置175での表示内容のハードコピーを行なう。

【0031】以下、骨塩定量方法について詳細に説明する。

【0032】DEXA法は、高低2種類の異なるエネルギーの放射線が組織を通過する際の組織における吸収の差を利用して、骨の厚みを求め骨塩量を算出する方法である。以下にDEXA法における骨塩量 (BMD値) の算出式を記す。BMD値 ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) は

$$\text{BMD} = \rho \cdot T_b \quad \cdots \quad \textcircled{1}$$

$\rho$  : 骨密度、 $T_b$  : 骨の厚さ

と表される。ここで、

$$T_b = \{ \ln(I_{L0}/I_L) - (\mu_{sL}/\mu_{sH}) \cdot \ln(I_{H0}/I_H) \} / \{ \mu_{bH} - (\mu_{bL}/\mu_{bH} - \mu_{sL}/\mu_{sH}) \}$$

$I_{L0}$  : 低エネルギー入射X線強度

$I_{H0}$  : 高エネルギー入射X線強度

$I_L$  : 低エネルギー透過X線強度

$I_H$  : 高エネルギー透過X線強度

$\mu_s$  : 軟部組織吸収係数

$\mu_b$  : 骨吸収係数

である。

$$L = \ln(I_{L0}/I_L)$$

$$H = \ln(I_{H0}/I_H)$$

$$R = \mu_{sL}/\mu_{sH}$$

$$G = \rho / (\mu_{bH} \cdot (\mu_{bL}/\mu_{bH} - \mu_{sL}/\mu_{sH}))$$

とおくと①は、

$$\text{BMD} = (L - R \cdot H) G \quad \cdots \quad \textcircled{2}$$

と表せる。②を画像として考えると、高低2種類のエネルギーで撮影されたH、L画像の差分がBMD画像 (以下、差分画像という) になる。従って差分画像を作成すれば、骨塩量は差分画像上の計測領域から算出できる。

②の右辺で定まる差分画像を設定する場合は、変数である基準値R (軟部組織におけるL、Hの吸収係数の比) を算出しなければならない。本実施例では、軟部組織上に基準値Rを算出するための領域 (以下、ベース領域という) を自動的に抽出し、基準値を算出して差分画像を作成し、該画像上に計測領域を抽出し、骨塩量を算出する方法について説明する。処理手順のフローチャート (以下、フローという) を図1に示す。

【0033】step10: 計測領域内に1点を指示 (図5)

L画像50、H画像51、定数G、及び基準値Rの代わりに定めた定数rにより式

$$\text{BMD} = (L - r \cdot H) G \quad \cdots \quad \textcircled{2}$$

を用いて定まる仮差分画像を表示し、マウス、トラックボール等で計測領域 (腰椎) 内に指示点53を設定する。別の方法として、L画像50、またはH画像51を表示し、指示点53を設定することもできる。仮差分画像は、L画像50、H画像51に比べて計測領域の部分がはっきりした画像になるため、指示点53がより設定しやすくなる。

【0034】step11: 差分画像の設定

図2(a)に差分画像設定のフローを示す。

【0035】以下に、各ステップの詳細内容を記す。

【0036】step20: 仮差分画像S'作成

L画像50、H画像51、定数Gを用い、任意定数rにより仮差分画像S'を作成する。

$$S'(i, j) = (L(i, j) - r \cdot H(i, j)) G$$

L画像50とH画像51は交互に撮影しているため、理論上0.5画素ずれている。そこで、少なくとも一方の画像をCubic Convolutionなどを用いて位置合わせした後に仮差分画像S'を作成することもできる。

【0037】step21: 仮しきい値M'の算出 (図8)

仮差分画像S'上で、指示点53を中心とする仮しきい値骨部算出領域80、仮しきい値軟部算出領域81におけるそれぞれの平均濃度値Mb、Msを算出する。仮しきい値M'を

$$M' = (Mb - Ms) k + Ms$$

と設定する。ここでk=0~1.0の値である。別の仮しきい値M'の算出方法として以下に(a)(b)(c)の3例を記す。

【0038】(a) 仮しきい値算出領域を複数個 (仮にn、mとする) 設定し、

$$Mb = \min (Mb_i) \quad (i = 1 \cdots n)$$



9

$$M_s = \max(M_{s_j}) \quad (j = 1 \cdots m)$$

として仮しきい値 $M'$ を算出する。

【0039】(b)平均濃度値から算出する $M'$ の他に、濃度標準偏差値などから算出されるしきい値を共に用いる。

【0040】(c)仮しきい値 $M'$ を一定値とする。 \*

$$Sb'(i, j) = \sum_{l=i-n}^{i+n} \sum_{m=j-m}^{j+m} S'(l, m) \quad \cdots (\text{数1})$$

【0043】はじめに、指示点53の位置する腰椎の輪郭93、腰椎間境界線94を検出し、次に、腰椎間境界線94から求まる腰椎長95を基準にその他の腰椎の輪郭93、腰椎間境界線94を検出する。

【0044】(a)輪郭93の検出：

(i)スキャン開始点91の設定：指示点53の位置するライン(仮に $n$ )上では指示点53をスキャン開始点91として左右にスキャンし、輪郭点931を検出する。それ以外のラインにおけるスキャン開始点91は、例えば、ライン( $n+1$ )、ライン( $n-1$ )では検出済のライン( $n$ )における左右輪郭点931の中点のX座標をライン( $n+1$ )、( $n-1$ )におけるスキャン開始点91のX座標とする。また、隣接ライン間におけるそれぞれのスキャン開始点91が大きすぎるのを防ぐため、ずれを抑制する処理を加えて、スキャン開始点91のX座標を設定する。このように隣接するラインの検出済輪郭点931から各ラインのスキャン開始点91を設定する。同時に、スキャン開始点91からなるスキャン開始点列97を設定する。

(ii)スキャン方法：各ラインにおけるスキャン開始点91よりスキャン除外長921を除いた位置より左右にスキャンし、仮しきい値 $M'$ と平滑仮差分画像 $Sb'$ 上の画素※30

$$a = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i x_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i} \quad \cdots (\text{数2})$$

( $n$ ：座標点数)

【0049】次に、傾き $a$ 、中心点54を通る近似直線101を設定し、指示腰椎90間の輪郭93中で近似直線101と最も距離の離れた最遠点1021を検出する。最遠点1021よりベース間隔幅1022の位置から近似直線101に平行で、指示腰椎長96の長さのベース領域100を設定する。

【0050】step25：しきい値算出(図11)

仮差分画像 $S'$ 上で、中心点54を基準としてしきい値骨部算出領域111、しきい値軟部算出領域112を設定する。仮しきい値算出の場合と同様に、それぞれの領域内の平均濃度値 $M_b$ 、 $M_s$ を算出し、しきい値 $M$ を

$$M = (M_b - M_s)k + M_s$$

とする。ここで $k=0 \sim 1.0$ の値である。

【0051】step26：終了条件

以下の2つを終了条件とする。

10

\*【0041】step22：指示腰椎90の抽出(図9)

指示腰椎90の抽出は、仮差分画像 $S'$ をあるサイズ $n$ で平滑化した平滑仮差分画像 $Sb'$ 上で行なう。

【0042】

【数1】

10※値 $gr$ を比較し、条件式 $M' > gr$ を満たす位置を輪郭点931にする。最大スキャン長922までスキャンして条件式を満たす点がない場合は最大スキャン長922の位置を輪郭点931とする。スキャン除外長921を設けることにより腰椎内部の低濃度部でスキャンが失敗するのを防ぐことができる。

【0045】(b)腰椎間境界94の検出：左右の輪郭93内において、画素値 $gr$ の累積値をライン毎に算出し、ある一定区間で累積値が最小となるライン位置を腰椎間境界94とする。

20【0046】step23：腰椎中点算出(図10)

指示点53の位置する腰椎を囲む輪郭93、腰椎間境界94の全座標値または一部分の座標値を平均して中心点54を算出する。

【0047】step24：ベース領域100抽出(図10)

step22で検出したスキャン開始点列97の座標( $x_i, y_i$ )より最小二乗法を用いてスキャン開始点列97を一直線で近似したときの傾き $a$ を算出する。

【0048】

【数2】

【0052】(a)指示点53と中心点54が一致した場合。

【0053】(b)繰り返し回数が一定回数以上になった場合。(a)(b)を満たさない場合は、中心点54を指示点53に置き換えてstep22～step25を繰り返す。

【0054】step27：基準値算出(図10)

最終的に設定したベース領域100を用い、L画像50、H画像51より基準値 $R$ を算出する。

$$R = \mu sL / \mu sH$$

step28：差分画像作成

算出した基準値 $R$ より差分画像 $S52$ を作成する。

$$S(i, j) = (L(i, j) - R * H(i, j))G$$

以上のように差分画像を作成するが、別の方法として、

図2(b)に差分画像作成代案フローを示す。この案は、

50基準値 $R$ 算出、差分画像作成を複数回繰り返すことを特

徴とする。各ステップの処理は、前記の各ステップに記した方法と同じである。ただし、step2b4の中点算出処理終了条件は、前記step26の終了条件であり、step2b8の終了条件は、(a) n回目に算出した基準値 $R_n$ と、(n+1)回目に算出した基準値 $R_{n+1}$ が一致した場合(n $\geq 1$ )、(b)繰り返し回数が一定回数以上になった場合である。

【0055】step12: 差分画像の補正

図6に示すように差分画像S52を補正することによりストライプ状ノイズを除去した差分画像S52を作成する。図3(a)に差分画像補正のフローを示す。

【0056】以下に、各ステップの詳細内容を記す。

【0057】step30: ライン毎の平均濃度値M131の算出(図12)

$$M'_L = \frac{\sum_{i=0}^n W_{L \pm i}}{\sum_{i=0}^n W_{L \pm i} \cdot M_{L \pm i}} \quad \dots (数3)$$

【0060】step32: 差分画像S52の補正

ライン毎の平均濃度値M131と補正平均濃度値 $M'^{133}$ より補正值bを算出し、ライン毎に画素値を変換する。例えば、ライン位置Lにおける補正值 $b_L$ は、

$$b_L = M'^{133}_L - M_L$$

と設定し、ライン位置L上の各画素 $g_r(L, j)$ を $g_r'(L, j)$ に変換する。

$$g_r'(L, j) = g_r(L, j) + b_L$$

他のラインも同様に変換し、補正された差分画像S52を作成する。別の差分画像の補正方法として以下(a)(b)(c)に3例記す。

【0061】(a)図3(b)に差分画像補正の代案フローを示す。

$$b'_L = \frac{\sum_{j=0}^m W'_{L \pm j}}{\sum_{j=0}^m W'_{L \pm j} \cdot b_{L \pm j}} \quad \dots (数4)$$

【0066】のように算出する。

【0067】step3b2: 差分画像S52の補正

ライン毎の補正值a、bを算出し、ライン毎に画素値を変換する。例えば、ライン位置Lにおける補正值 $a_L$ 、 $b_L$ は、

$$a_L = \sigma'^{133}_L / \sigma_L$$

$$b_L = (\sigma_L \cdot M'^{133}_L - \sigma'^{133}_L \cdot M_L) / \sigma_L$$

と設定し、ライン位置L上の各画素 $g_r(L, j)$ を $g_r'(L, j)$ に変換する。

$$g_r'(L, j) = a_L \cdot g_r(L, j) + b_L$$

他のラインも同様に変換し、補正された差分画像S52を作成する。

\* 差分画像S52上で、背景部121を除いた領域においてX方向のライン毎の平均濃度値M131を算出する。

【0058】step31: ライン毎の補正平均濃度値 $M'^{133}$ の算出(図13)

ライン毎の平均濃度値M131と重み関数W132を合わせ込んで、ライン毎の補正平均濃度値 $M'^{133}$ を算出する。例えば、ライン位置L1311の平均濃度値 $M_L^{1312}$ から補正平均濃度値 $M'^{1313}_L$ を算出するときは、平均濃度値 $M_L^{1312}$ とライン位置L1311の付近ラインの平均濃度値M131を重み関数W132を用いて以下のように合わせ込む。

【0059】

【数3】

20※【0062】step3b0: ライン毎の平均濃度値M、濃度標準偏差値 $\sigma$ の算出

差分画像S52上で、背景部121を除いた領域においてX方向のライン毎の平均濃度値M、濃度標準偏差値 $\sigma$ を算出する。

【0063】step3b1: ライン毎の補正平均濃度値 $M'$ 、補正濃度標準偏差値 $\sigma'$ の算出

step31と同様に、(数3)によりライン毎の補正平均濃度値 $M'$ を算出する。

30【0064】また、ライン位置Lの濃度標準偏差値 $\sigma_L$ より補正標準偏差値 $\sigma'_L$ も

【0065】

※ 【数4】

40【0068】(b)2次以上のモーメントを用いた合わせ込みを用いて差分画像を作成する。

【0069】(c)上記例のいずれかの方法により差分画像を補正した後、更に差分画像作成時に算出した傾きa(step25)を用いて、傾きaが垂直になるように画像全体を回転変換して最終的な差分画像とする。回転変換には、Cubic Convolutionなどを用いる。計測領域(腰椎)全体が傾いている場合は、回転変換することにより計測領域が画像に対して垂直になるので、以下に述べる仮腰椎間境界153、腰椎間境界154の検出がしやすくなる。以上の差分画像の補正は、ノイズの影響が少ない場合は必要なく、省略することができる。



【0070】step13: 計測領域の抽出

図4(a)に計測領域抽出処理の大まかなフローを示す。

【0071】以下に、各ステップの詳細内容を記す。

【0072】step40: しきい値算出(図11)

差分画像S52上において、図11に示したように、差分画像S52作成の際、step25で設定したしきい値骨部算出領域111、しきい値軟部算出領域112より第1スキャンしきい値M<sub>1</sub>、第2スキャンしきい値M<sub>2</sub>を算出する。step25におけるしきい値算出方法と同様に、それぞれの領域内の平均濃度値M<sub>b</sub>、M<sub>s</sub>を算出し、

$$M_1 = (M_b - M_s) k_1 + M_s$$

$$M_2 = (M_b - M_s) k_2 + M_s$$

と設定する。ここで、k<sub>1</sub>、k<sub>2</sub>=0~1.0、k<sub>1</sub>≤k<sub>2</sub>である。別のしきい値算出方法として以下(a)(b)(c)に3例示す。この3例は、step25で設定したしきい値骨部算出領域111、しきい値軟部算出領域112を用いずに新たにしきい値算出領域を設定する方法である。

【0073】(a)図14に示すように中心点54を基準に複数個(仮にn、mとする)のしきい値骨部算出領域141、しきい値軟部算出領域142を設定し、各領域における平均濃度値をM<sub>b<sub>i</sub></sub>、M<sub>s<sub>j</sub></sub>とすると

$$M_b = \min(M_{b_i}) \quad (i = 1 \cdots n)$$

$$M_s = \max(M_{s_j}) \quad (j = 1 \cdots m)$$

と設定する。

【0074】(b)(a)と同じ仮定のもとに、

【0075】

【数5】

$$M_b = \frac{1}{n \cdot \sum_{i=1}^n M_{b_i}} \quad \cdots \text{【数5】}$$

【0076】

【数6】

$$M_s = \frac{1}{m \cdot \sum_{j=1}^m M_{s_j}} \quad \cdots \text{【数6】}$$

【0077】と設定する。

【0078】(c)step11(差分画像S52作成)の際に用いた手順に従って中心点54を指示点53と置き換えて、差分画像S52上において再度処理し、新たなしきい値算出領域を設定する。

【0079】step41: 指示腰椎90領域の抽出(図15)

図4(b)に腰椎領域抽出の詳細なフローを示す。以下各ステップ毎に記す。

【0080】差分画像S52を任意サイズで平滑化した平滑差分画像S<sub>b1</sub>を作成し、S<sub>b1</sub>上で、step22における指示腰椎90の抽出と同様の手順に従ってしきい値M<sub>1</sub>により、step44: 第1スキャン輪郭151(輪郭93に対

応)を検出する。

【0081】

step46: 第2スキャン輪郭152の検出(図15)

差分画像S52上で、左右の第1スキャン輪郭151で囲まれる内部をサイズmで平滑化した平滑差分画像S<sub>b2</sub>を作成する。平滑化のサイズmは第1スキャン輪郭151検出時の平滑差分画像S<sub>b1</sub>のサイズnより小さい。平滑差分画像S<sub>b2</sub>上において、第1スキャン輪郭151より腰椎の中心方向にしきい値M<sub>2</sub>でスキャンする。平滑差分画像S<sub>b2</sub>上の画素値g<sub>r</sub>とすると、条件g<sub>r</sub>>M<sub>2</sub>を満たす位置を第2スキャン輪郭152とする。別の第2スキャン輪郭152の検出方法として、平滑差分画像S<sub>b2</sub>上における第1スキャン輪郭151の画素値g<sub>r</sub>の値によりスキャン方向を変える方法がある。スキャン方向を変える条件は以下のようにする。(i)g<sub>r</sub><M<sub>2</sub>のとき: 腰椎の中心方向(順方向)にスキャンし、条件g<sub>r</sub>>M<sub>2</sub>を満たす位置を第2スキャン輪郭152とする。

【0082】(ii)g<sub>r</sub>>M<sub>2</sub>のとき: 逆方向にスキャンし、条件g<sub>r</sub><M<sub>2</sub>を満たす位置を第2スキャン輪郭152とする。

【0083】(iii)g<sub>r</sub>=M<sub>2</sub>のとき: 第1スキャン輪郭151の点を第2スキャン輪郭152の点とする。

【0084】step47: 腰椎間境界154の検出(図16)

仮腰椎間境界153を中心とする検索範囲161内で腰椎間境界154を検出する。平滑差分画像S<sub>b2</sub>上の検索範囲161において、左右第2スキャン輪郭152内の画素値g<sub>r</sub>の累積値162をライン毎に算出する。更に累積値の移動平均を算出し、その移動平均値を各ラインの累積値163とする。検索範囲161内で累積値163が最小となるライン位置164を腰椎間境界154とする。移動平均を算出することで、図16にも示す通り、最小累積値ライン位置162がより安定に検出できるようになる。別の腰椎間境界154の検出方法として以下(i)(ii)に2例記す。

【0085】(i)図16aに示すように、仮腰椎間境界153を中心とする傾き検出範囲165内のスキャン開始点列97の座標値よりstep25と同様に近似直線166を算出する。次に、近似直線166に垂直で検索範囲161内の各ライン上において、左右第2スキャン輪郭152内の画素値g<sub>r</sub>の累積値162をライン毎に算出する。更に累積値の移動平均を算出し、その移動平均値を各ラインの累積値163とする。検索範囲161内で累積値163が最小となるライン位置164を腰椎間境界154とする。

【0086】(ii)左右第2スキャン輪郭152内の画素値g<sub>r</sub>の累積をライン毎に算出し、検索範囲161内で累積値が最小となるライン位置を腰椎間境界154とする。

【0087】

step42: 上方腰椎155領域の抽出(図15)

指示腰椎90領域抽出時と同様の方法で、図4(b)のフローに従って上方腰椎155の第1スキャン輪郭151、仮腰椎間境界153を検出し、第2スキャン輪郭152、腰椎間境界

154を検出し、上方腰椎155領域を抽出する。

【0088】

step43: 下方腰椎156領域の抽出 (図15)

上記の上方腰椎155領域の抽出と同様の方法で図4(b)のフローに従って下方腰椎155領域を抽出する。

【0089】 以上の方法で設定した第2スキャン輪郭152、および腰椎間境界154より複数の腰椎領域を抽出する。

【0090】 step14: 骨塩量算出

差分画像S上の各腰椎領域内の平均濃度値を算出し、必要であれば補正係数を掛けて骨塩量とする。また、各領域内の画素数を算出し、補正係数を掛けて領域面積を求める。また、全ての腰椎領域、または部分的な複数の腰椎領域をまとめた骨塩量、面積なども算出する。

【0091】 上記実施例は、主に変形の少ない腰椎抽出に向いているものである。次に変形の多い腰椎抽出を主対象とする骨塩定量の実施例を示す。以下、図18のフローに従って説明する。

【0092】 step180: 仮差分画像S'作成

上記実施例のstep20と同様に作成する。

【0093】

step181: 第3腰椎中心付近指示 (図19)

仮差分画像を表示し、マウス、トラックボール等で第3腰椎の中心付近に指示点53を設定する。指示点53を中心付近に限るのは腰椎が圧迫されている症例では腰椎間境界の検出が困難であり、指示点に制約を加えることにより、この制約を境界検出の判定に用い、境界を確実に検出するためである。指示点53は第3腰椎に限らず、第2腰椎でも第4腰椎でも良い。

【0094】 step182: 第3腰椎間境界検出

第3腰椎に接する腰椎間境界を検出する。この処理は図18(b)のフローに従う。

【0095】 step1820: しきい値M'算出

上記step21と同様にしきい値M'を算出する。

【0096】 step1821: 第3腰椎付近輪郭検出

上記step22と同様に、腰椎内部から外に向かってスキャンし、輪郭93を検出する。検出する輪郭93の長さは予め設定するか、または検出された輪郭93から輪郭間の長さa190を算出し、指示点53の上下に例えば、 $0.8 \times a$ の長さとする。輪郭間の長さa190の設定方法は、指示点53を中心とする上下数ラインの輪郭間の長さの平均値とするか、または指示点53上の輪郭間の長さを直接取り入れる方法がある。また、輪郭93はstep22のように1回のスキャンで設定するほかに、上記step44、step46と同様に2段階のスキャンを行なって輪郭93を絞り込むこともできる。この場合しきい値は2つ設定する。

【0097】

step1822: 第3腰椎間境界(13, 14)検出

step1821で設定した輪郭間の長さa190を基準に、境界線設定範囲191を設定する。指示点53のライン位置をp

とすると、境界線設定範囲191は

上:  $p - 0.2 \times a \sim p - 0.8 \times a$

下:  $p + 0.2 \times a \sim p + 0.8 \times a$

の範囲とする。もちろんこの範囲は変えることができ、係数は0.2、0.8に限らない。次に、各境界線設定範囲191中より境界(13, 14)を検出する。以下、境界13, 192の検出について説明する。境界線設定範囲191のライン本数をnとする。境界線設定範囲191中の各ライン毎に左右の輪郭間93の累積濃度値 $T_i$  ( $i=1, \dots, n$ )、平均濃度値 $A_i$  ( $i=1, \dots, n$ )を算出する。次に累積濃度値 $T_i$ の最大値 $T_{max}$ 、最小値 $T_{min}$ 、平均濃度値 $A_i$ の最大値 $A_{max}$ 、最小値 $A_{min}$ を求め、予め設定した評価関数の形状に基づいて累積濃度の評価関数194と平均濃度の評価関数195を作成する。ここでは評価関数は形状のみを予め決めており、求めた最大値、最小値を用いて評価関数を作成するが、予め評価関数が固定されていてもよい。境界13, 192は、境界線設定範囲191の各位置の最終評価値のうち評価値が最大のライン位置である。各位置の最終評価値の決定方法は以下のような3つの方法がある。

【0098】 (1) 累積濃度の評価値と平均濃度の評価値のうち小さい方を最終評価値とする。

【0099】 (2) 累積濃度の評価値と平均濃度の評価値の平均値を最終評価値とする。

【0100】 (3) 累積濃度の評価値と平均濃度の評価値の積を最終評価値とする。

【0101】 この例では、累積濃度値と平均濃度値の評価値の組合せで境界13, 192を検出しているが、更に濃度標準偏差値、輪郭間の長さ等様々な組合せで検出してもかまわない。境界14, 193も同様に検出する。

【0102】

step1823: 第3腰椎間境界(13, 14)判定 (図20)

境界(13, 14)が適当であるかどうかを判定する。以下の条件式(1)と(2)の両方を満たすとき境界(13, 14)は適当であるとする。図20に示すように、境界13, 192と境界14, 193間の長さを境界長 $b_{200}$ 、指示点53と境界13, 192間の長さを境界長 $b_{201}$ 、指示点53と境界14, 193間の長さを境界長 $b_{202}$ とすると、

条件式(1)  $0.45 \leq a/b \leq 0.85$

条件式(2)  $0.75 \leq b_1/b_2 \leq 1.25$

ここで各条件式の定数は、指示点53が第3腰椎の中心付近に設定されることを前提として大部分の腰椎が臨床的に取り得る比の範囲として暫定的に定めた値であり、この値に限るものではない。条件式(1)または条件式(2)を満たさない場合は、境界線設定範囲191を変更してstep1822に戻る。以下に境界線設定範囲の変更について説明する。

【0103】 (a) 条件式(1)を満たす場合

(i)  $b_1/b_2 < 0.75$ のとき、境界13, 192より上方の設定範囲に変更する。

(ii)  $b_1/b_2 > 1.25$ のとき、境界14, 193より下方の

設定範囲に変更する。

【0104】

(b) 条件式(1)を満たさず、 $a/b < 0.45$ の場合  
(i)  $0.75 \leq b_1/b_2 \leq 1.25$ のとき、境界 $l_{192}$ より上方の設定範囲と、境界 $l_{193}$ より下方の設定範囲に変更する。

(ii)  $b_1/b_2 < 0.75$ のとき、境界 $l_{192}$ より上方の設定範囲に変更する。

(iii)  $b_1/b_2 > 1.25$ のとき、境界 $l_{193}$ より下方の設定範囲に変更する。

【0105】

(c) 条件式(1)を満たさず、 $a/b > 0.85$ の場合  
(i)  $0.75 \leq b_1/b_2 \leq 1.25$ のとき、境界 $l_{192}$ より下方の設定範囲と、境界 $l_{193}$ より上方の設定範囲に変更する。

(ii)  $b_1/b_2 < 0.75$ のとき、境界 $l_{193}$ より上方の設定範囲に変更する。

(iii)  $b_1/b_2 > 1.25$ のとき、境界 $l_{192}$ より下方の設定範囲に変更する。

【0106】step183: 他腰椎間境界検出(図21)

上記step182と同様に腰椎間境界( $l_1, l_2, l_3$ )を検出する。まずしきい値 $M'$ により輪郭93を上下に延長する。次に上方腰椎境界線設定範囲210と下方腰椎境界線設定範囲211を設定する。境界線 $l_{192}$ の位置を $l_3$ 、境界 $l_{193}$ の位置を $l_4$ とする。第3腰椎の境界長 $b_{200}$ を用いて、

上方腰椎境界線設定範囲:  $l_3 - 0.7 \times b \sim l_3 - 1.1 \times b$

( $l_2 - 0.7 \times b \sim l_2 - 1.1 \times b$ )

下方腰椎境界線設定範囲:  $l_4 + 0.8 \times b \sim l_4 + 1.2 \times b$

の範囲とする。もちろんこの範囲は変えることができるが、上方腰椎が小さく、下方腰椎が大きい傾向があることから上記のような範囲を設定している。次に各境界線設定範囲中から境界( $l_1, l_2, l_3$ )を検出する。以下に境界 $l_{213}$ の検出について説明する。上方腰椎境界線設定範囲210のライン本数を $m$ とする。上方腰椎境界線設定範囲210中の各ライン毎に左右の輪郭間93の累積濃度値 $T_i$  ( $i=1, \dots, m$ )、平均濃度値 $A_i$  ( $i=1, \dots, m$ )を算出する。次に累積濃度値 $T_i$ の最大値 $T_{max}$ 、最小値 $T_{min}$ 、平均濃度値 $A_i$ の最大値 $A_{max}$ 、最小値 $A_{min}$ を求め、予め設定した評価関数の形状に基づいて累積濃度の評価関数194と平均濃度の評価関数195を作成する。ここでは評価関数は形状のみを予め決めており、求めた最大値、最小値を用いて評価関数を作成するが、予め評価関数を固定してもよい。また、境界 $l_3$ からの長さである上方腰椎境界長 $c_{215}$ を算出し、基準とする第3腰椎の境界長 $b_{200}$ をもとに作成される上方腰椎境界長評価関数217で評価値を求める。境界 $l_{213}$ は、上方腰椎境界線設定範囲210の各位置の最終評価値のうち評価値が最

大のライン位置である。各位置の最終評価値の決定方法は以下のような3つの方法がある。

【0107】(1) 累積濃度の評価値と平均濃度の評価値と上方腰椎境界長の評価値のうち最小値を最終評価値とする。

【0108】(2) 累積濃度の評価値と平均濃度の評価値と上方腰椎境界長の評価値の平均値を最終評価値とする。

【0109】(3) 累積濃度の評価値と平均濃度の評価値と上方腰椎境界長の評価値の積を最終評価値とする。

【0110】この例では、累積濃度値と平均濃度値と上方腰椎境界長の評価値の組合せで境界 $l_{213}$ を検出しているが、更に濃度標準偏差値、輪郭間の長さ等様々な組合せで検出してもかまわない。境界 $l_{212}$ 、境界 $l_{214}$ も同様に検出する。下方腰椎境界長評価関数218の形状は、上方腰椎境界長評価関数217の形状と少し異なり、境界長 $b_{200}$ より長い方が評価値が高くなっている。

【0111】以上の処理から第1～第4腰椎の各腰椎間境界を検出する。このように複数の評価値を総合評価すると、境界の特徴を最大に持つ位置を設定できる。

【0112】step184: ベース領域抽出

step183で検出した左右の輪郭93と境界 $l_i$  ( $i=2, \dots, 5$ )をもとにstep22と同様にベース領域を抽出する。ベース領域の長さは、境界 $l_{213}$ と境界 $l_{214}$ 間の長さ、または第3腰椎の境界長 $b_{200}$ の長さの3倍とする。

【0113】step185: 基準値算出

step27と同様に基準値を算出する。

【0114】step186: 差分画像S作成

step28と同様に差分画像Sを作成する。

【0115】step187: しきい値算出

step40と同様にしきい値 $M_1$ 、 $M_2$ を設定する。または、しきい値 $M_2$ のみ設定する。

【0116】step188: 腰椎輪郭検出

step44、step46と同様に腰椎の輪郭を2段階のスキャンで検出する。または、step183で検出した左右の輪郭93を第1スキャン輪郭とし、しきい値 $M_2$ で輪郭93から腰椎の内側にスキャンを行ない、第2スキャン輪郭を検出してもよい。

【0117】ここで検出した第2スキャン輪郭と境界 $l_i$  ( $i=1, \dots, 5$ )で囲まれる領域がそれぞれの腰椎領域である。

【0118】step189: 骨塩量算出

差分画像S上の各腰椎領域内の平均濃度値を算出し、必要であれば補正係数を掛けて骨塩量とする。また、各領域内の画素数を算出し、補正係数を掛けて領域面積を求める。また、全ての腰椎領域、または部分的な複数の腰椎領域をまとめた骨塩量、面積なども算出する。

【0119】以上が変形の多い腰椎領域抽出を主対象とする実施例である。

【0120】次に、骨の変形の推定例について説明す

る。

【0121】ここでは、腰椎正面像の領域抽出結果と各腰椎の骨塩量から腰椎の湾曲と、腰椎の圧迫を推定する。まず湾曲は、抽出した各腰椎領域毎に輪郭間の中心点からなる座標列を算出し、最小二乗法を用いて各腰椎の傾きを算出する。各傾きが一定の方向性を保ち、ある限られた範囲内でばらついているならば湾曲はないと推定し、傾きが例えば、正から負、または負から正へと弧を成すようにばらついているならば湾曲と推定する。骨の圧迫は、各腰椎領域毎の面積と骨塩量を比較し、それ  
10 ぞれがある限られた範囲内でばらついているならば圧迫はないと推定し、限られた腰椎のみが他の腰椎に比べて面積が小さく、骨塩量が高いならばその腰椎で圧迫があると推定する。範囲はしきい値で設定するが、第3腰椎の面積と骨塩量を基準にして、例えば0.8倍～1.2倍の範囲になれば圧迫とする。また、面積がばらついていて、骨塩量のばらつきが小さいときは領域抽出が間違っていると推定することもできる。このように骨の変形を推定し、推定結果を参考に操作者が領域抽出結果を判断し、必要に応じて再抽出処理や再計算処理、操作者  
20 による補正処理を指示する。

【0122】以上に示した腰椎を対象とする少なくとも2つの骨塩定量方法及び骨の変形の推定方法を備えた骨塩定量装置内の画像処理装置174の例を示す。

【0123】画像処理装置174は、骨塩定量処理部1741と骨変形推定部1742から構成されている(図22(a))。骨塩定量処理部1741は骨塩定量を計測領域の変形等の状態に応じた複数の骨塩定量方法、再骨塩定量処理等を備えている。まず、計測領域の変形等に応じて操作者がどの骨塩定量方法を用いるか選択し、操作卓176より指示し、指示に基づいて骨塩定量処理部1741で、骨塩定量し、さらに骨塩定量結果に基づいて、骨変形推定部1742で骨の変形を推定する。または、第1の骨塩定量方法で抽出した結果に基づいて骨変形推定部1742で骨の変形を推定し、推定した結果に基づき第2の骨塩定量方法で再度骨塩定量することもできる。

【0124】図22(b)は、骨状態判定部1743を骨塩定量処理部1741の前に備え、上記の例において操作者が選択していた骨塩定量方法を骨状態判定部1743で行なう構成例である。例えば腰椎正面像の骨の状態判定は、画像中央部の複数の縦方向のラインの濃度変化のプロファイルから、腰椎間が変形しているか判定し、適当な骨塩定量方法を選択する。また、骨状態判定部1743での判定結果に基づいて、操作者と対話しながら骨塩定量方法を選択することもできる。

【0125】以上のように複数の骨塩定量方法を備えることにより、計測領域の状態に適した骨塩定量方法を選択・適用することができるため、計測領域の自動抽出率が向上する。また、操作者に起因する誤差や再現性の低下を避けることができる。

【0126】

【発明の効果】以上述べたように、本発明は、安定した差分画像の作成、オペレーションに左右されない計測領域の自動抽出方法、及び計測領域の変形にも強い領域自動抽出方法を提供するため、自動抽出率が高く、再現性の高い骨塩定量方法として有効である。

【図面の簡単な説明】

【図1】骨塩量計測全体の処理フロー。

【図2】(a)差分画像作成処理フロー。

(b)差分画像作成処理(代案)フロー。

【図3】(a)差分画像補正処理フロー。

(b)差分画像補正処理(代案)フロー。

【図4】(a)計測領域抽出処理フロー。

(b)計測領域抽出処理の詳細なフロー。

【図5】差分画像作成の概要を示す図。

【図6】差分画像補正の概要を示す図。

【図7】側面輪郭71と計測領域間境界72によって抽出される複数計測領域70からなる腰椎正面を示す図。

【図8】仮しきい値算出処理を説明する図。

【図9】指示腰椎検出処理を説明する図。

【図10】ベース領域設定処理を説明する図。

【図11】しきい値算出処理を説明する図。

【図12】差分画像を補正する際の有効領域を示す図。

【図13】合わせ込みによるライン補正処理を説明する図。

【図14】しきい値算出領域処理(代案)を説明する図。

【図15】複数の計測領域(腰椎)の抽出処理を説明する図。

【図16】(a)腰椎間境界を設定する処理を説明する図。

(b)腰椎間境界を設定する処理(代案)を説明する図。

【図17】本発明を実現するシステム構成の一例を示す図。

【図18】(a)腰椎の椎間の変形に強い骨塩量計測全体の処理フロー。

(b)第3腰椎間境界検出の処理フロー。

【図19】第3腰椎間境界検出方法を説明する図。

【図20】第3腰椎間境界の判定を説明する図。

【図21】第3腰椎以外の腰椎間境界検出方法を説明する図。

【図22】図17の画像処理装置について一例を示す図。

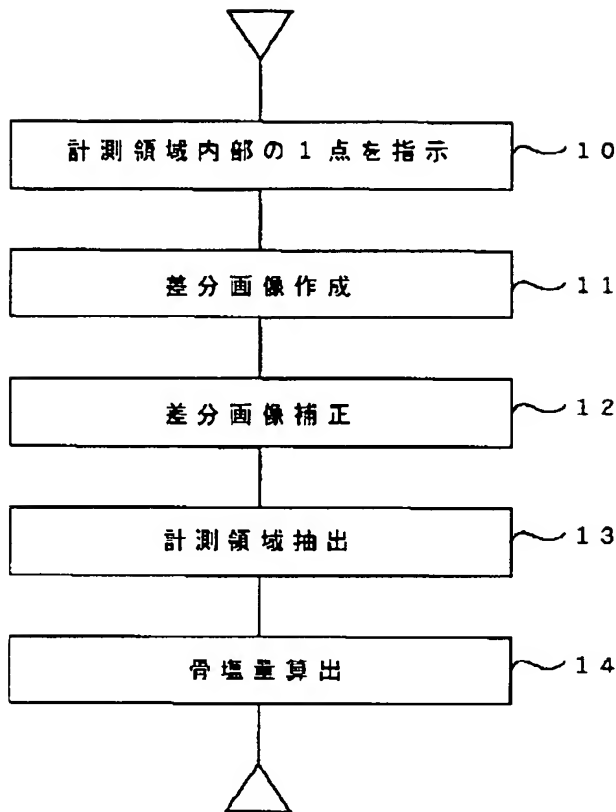
【符号の説明】

52…差分画像、53…指示点、54…中心点、70…計測領域、71…側面輪郭、72…計測領域間境界、100…ベース領域、151…第1スキャン輪郭、152…第2スキャン輪郭、153…仮腰椎間境界、154…腰椎間境界、194, 195, 21

50 7, 218…評価関数。

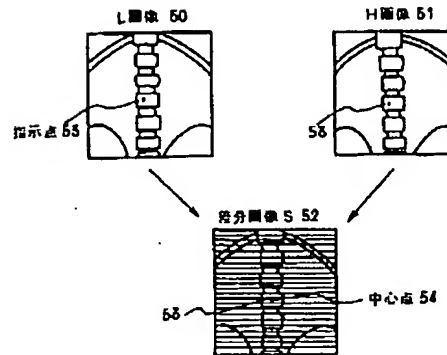
【図1】

図 1



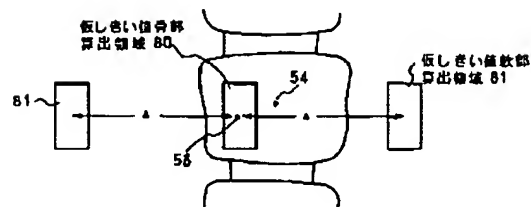
【図5】

図 5



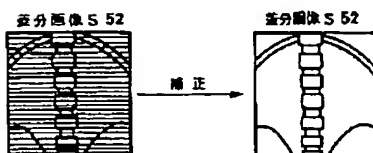
【図8】

図 8



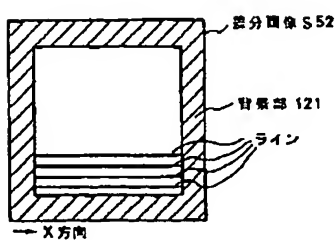
【図6】

図 6



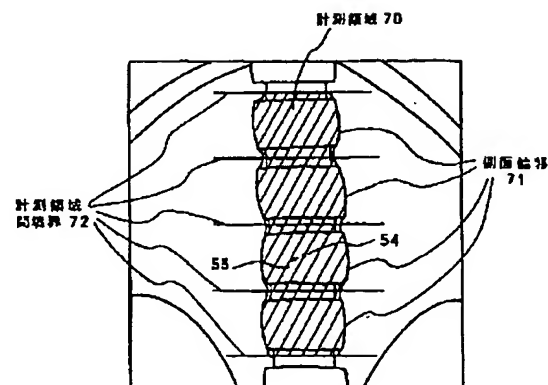
【図12】

図 12



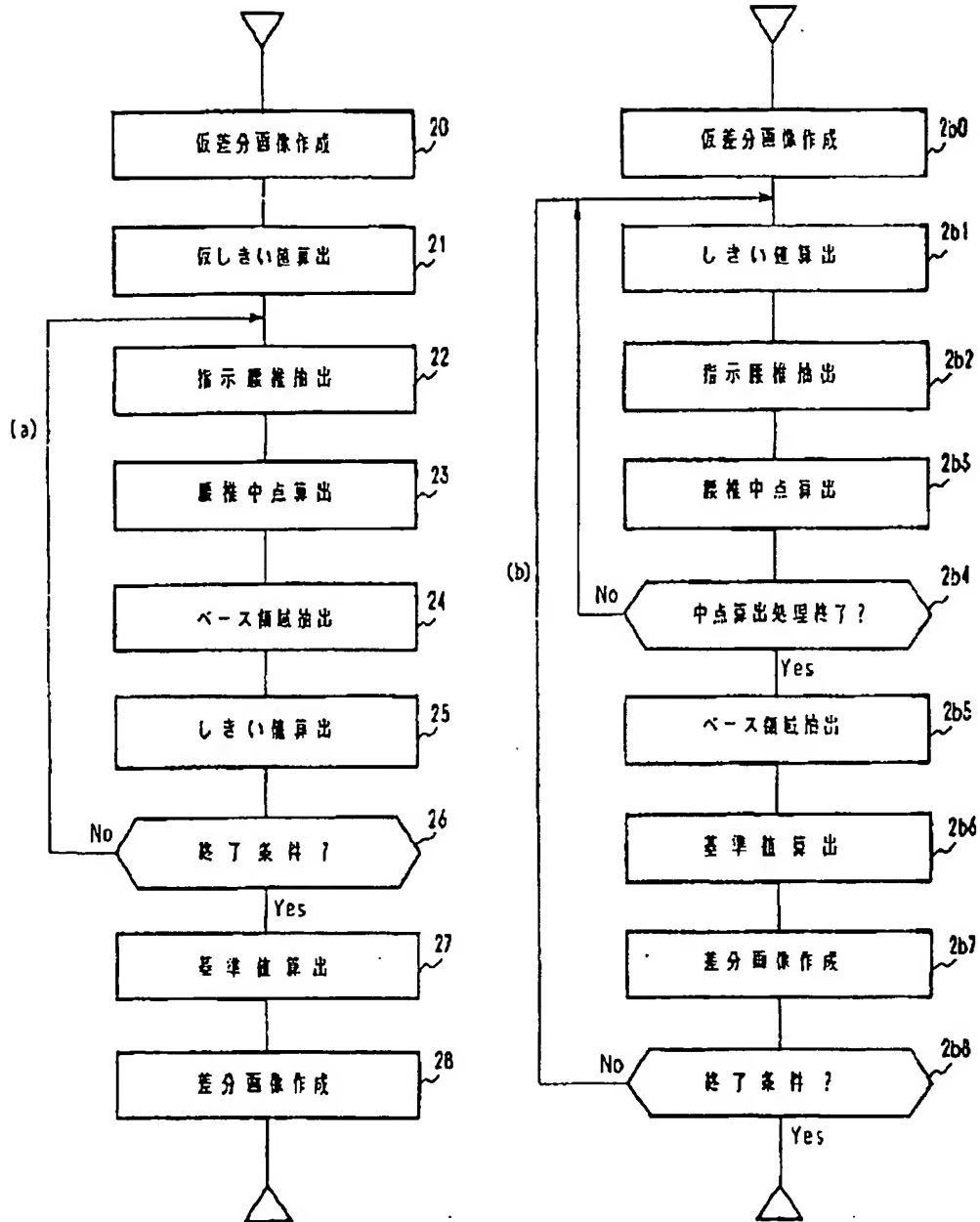
【図7】

図 7



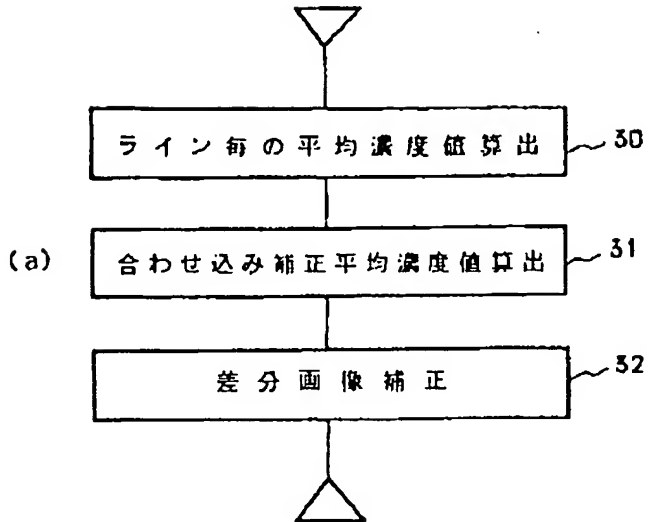
【図2】

図 2



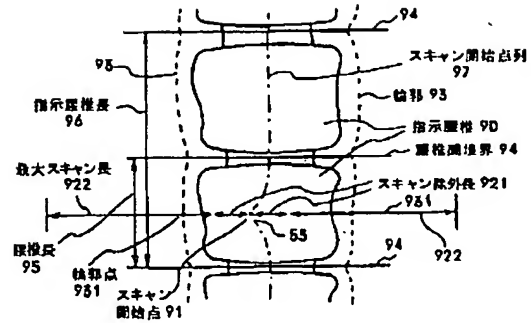
【図3】

図 3



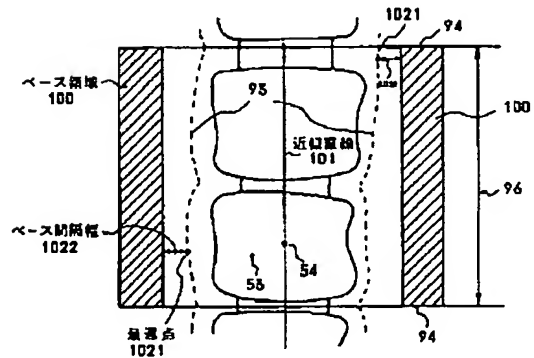
【図9】

図 9



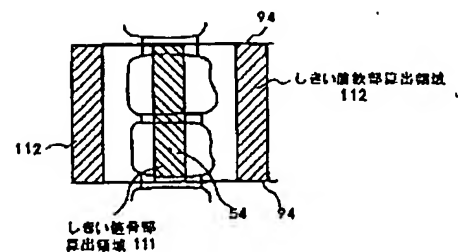
【図10】

図 10



【図11】

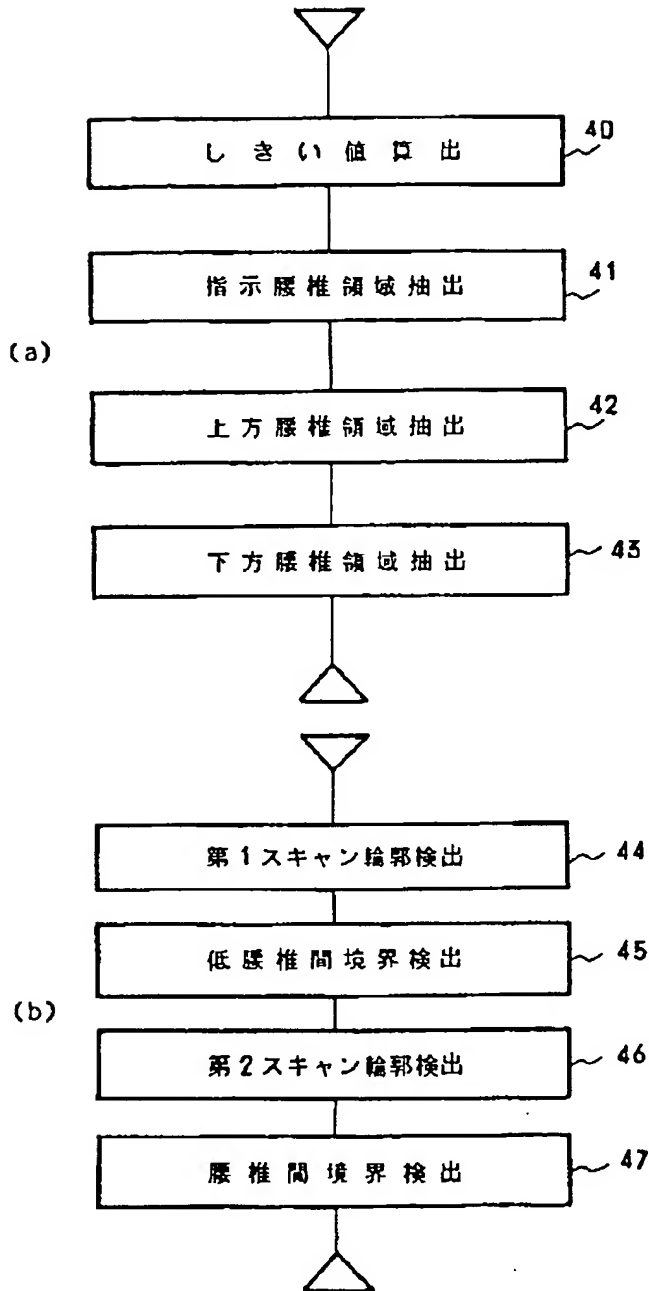
図 11





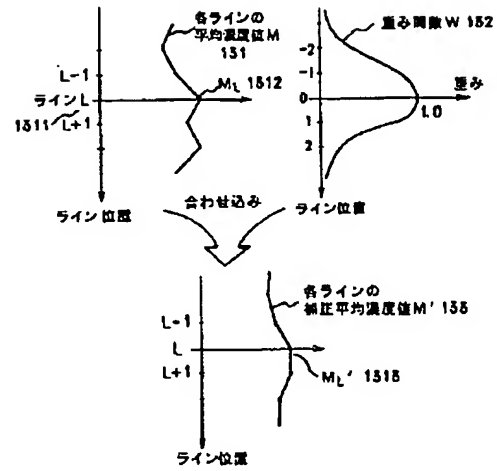
【図4】

図 4



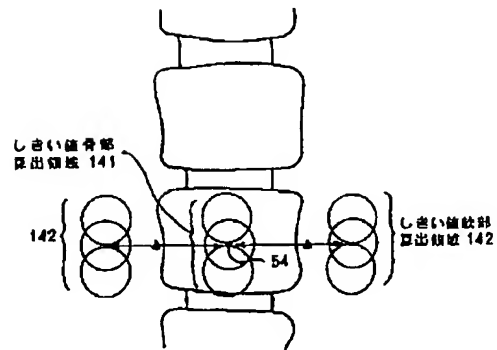
【図13】

図 13



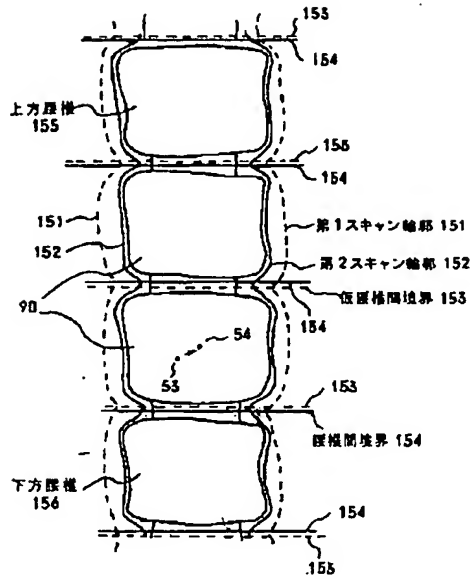
【図14】

図 14



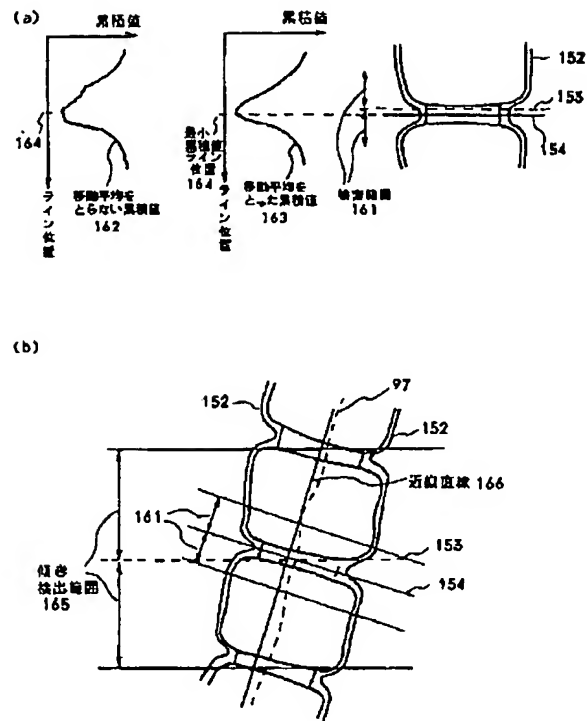
【図15】

図 15



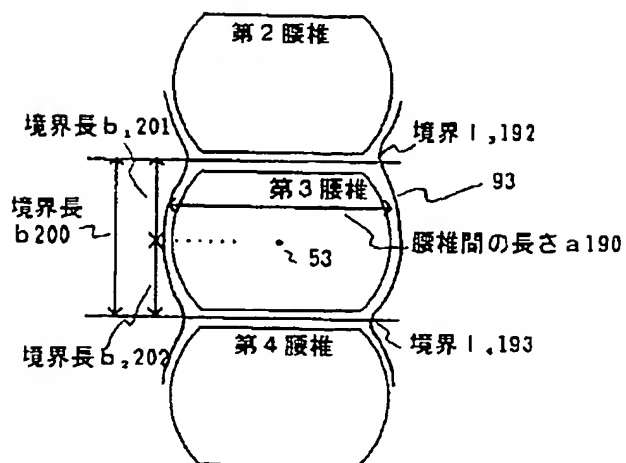
【図16】

図 16



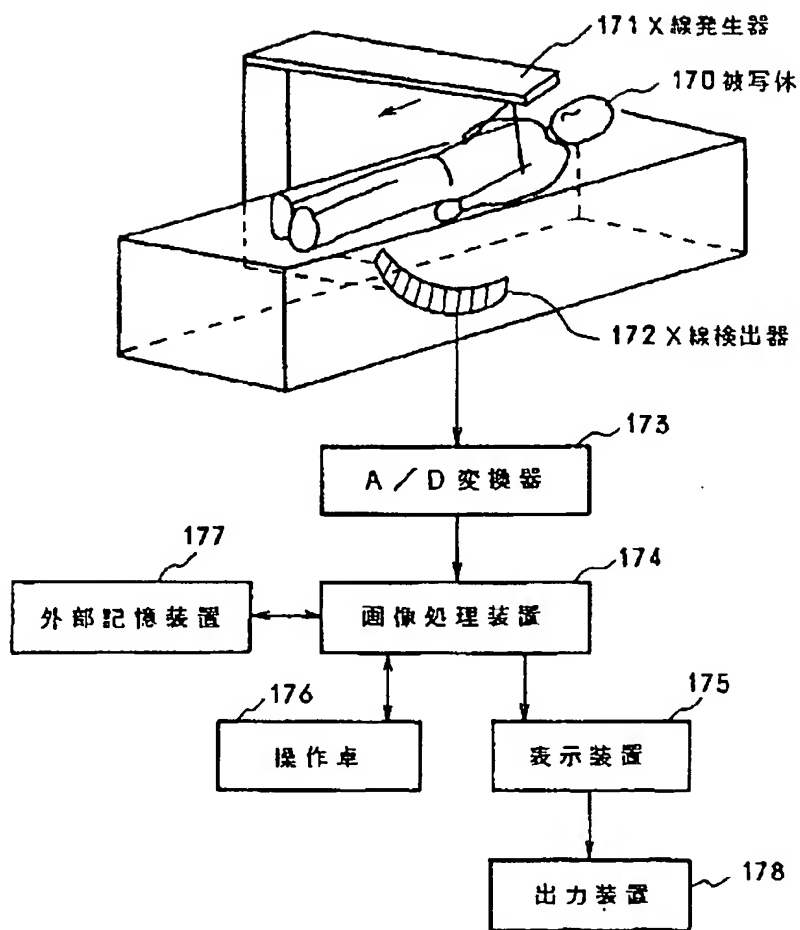
【図20】

図 20



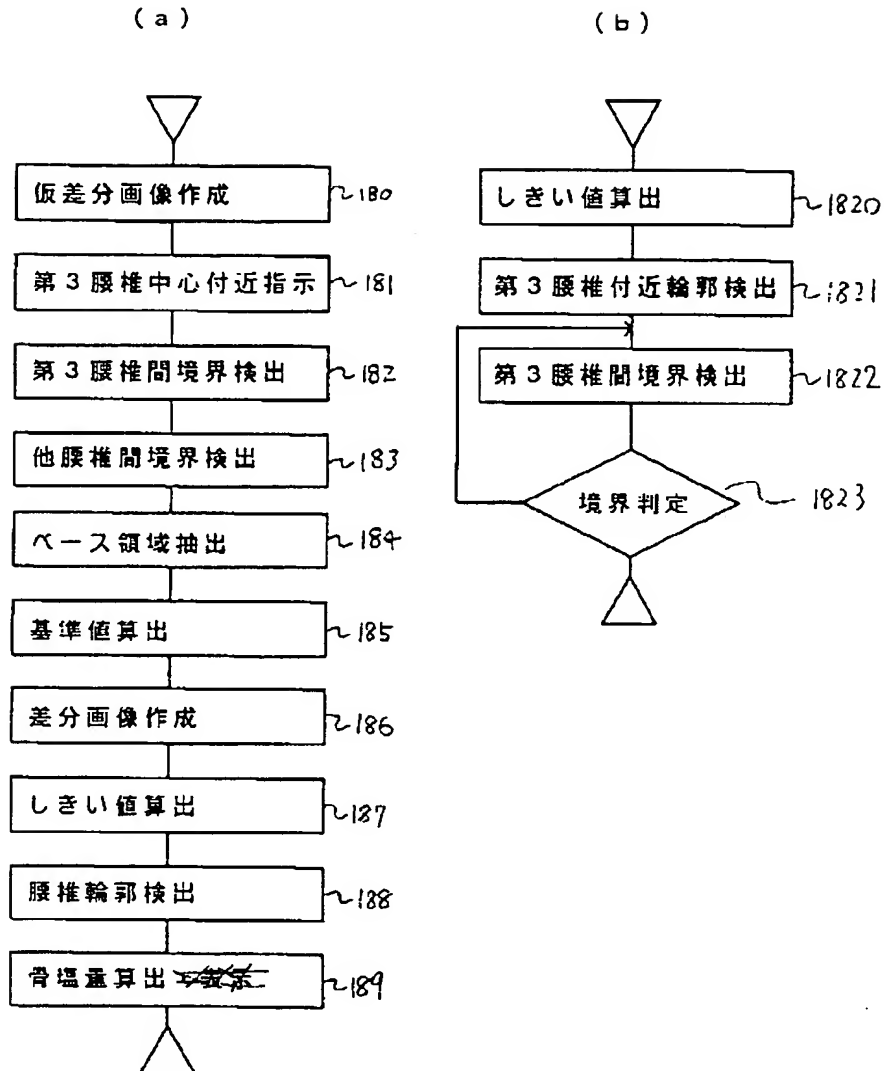
【図17】

図 17



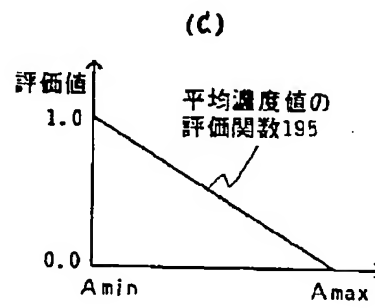
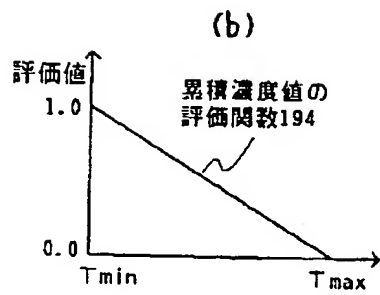
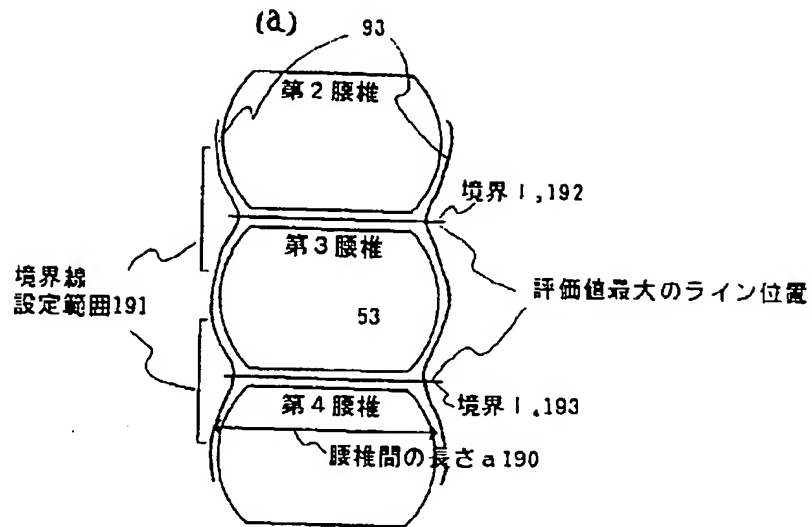
【図18】

図18



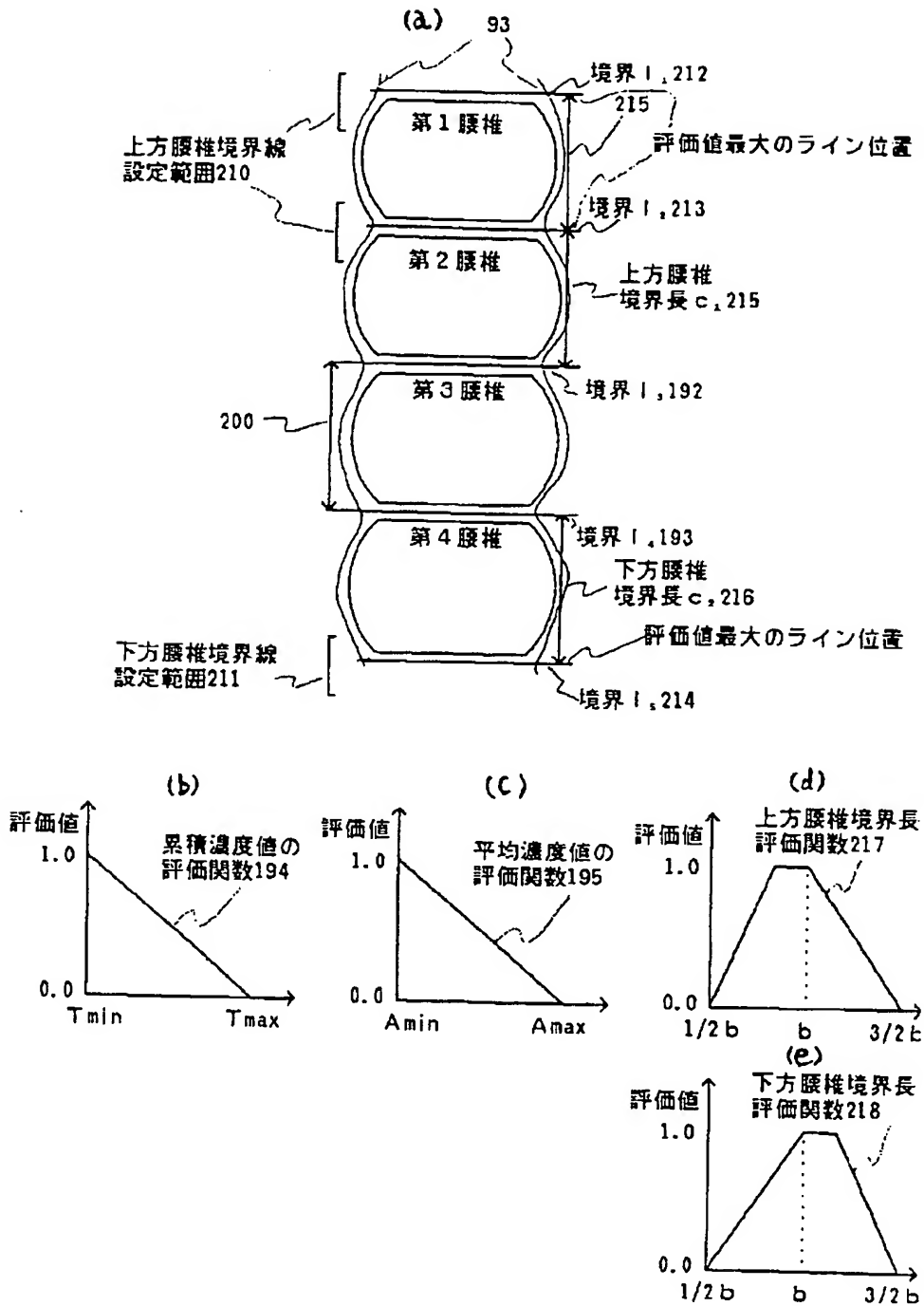
【図19】

図19



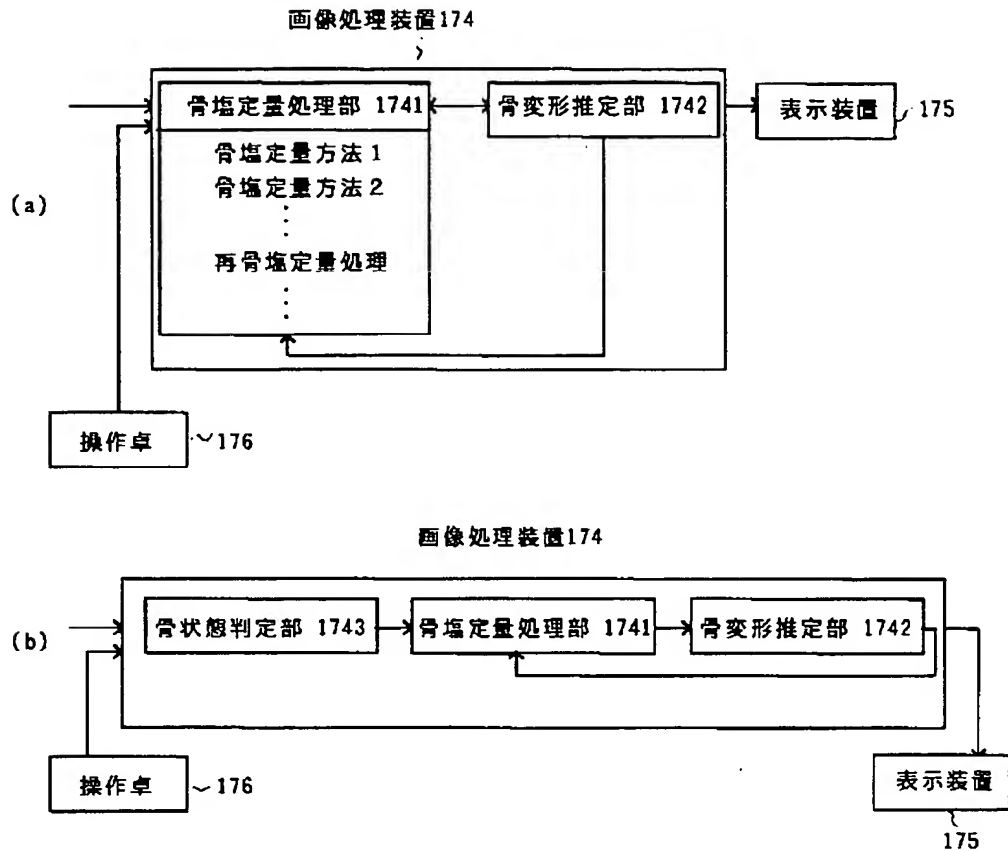
【図21】

図21



【図22】

図22



フロントページの続き

(51)Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 6 F 15/62	3 2 0 P	9365-5L		
	3 9 0 A	9287-5L		

(72)発明者 熊本 三矢戒  
 東京都千代田区内神田1丁目1番14号 株  
 式会社日立メディコ内